

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. Oktober 2001 (18.10.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/78160 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01L 41/09**

Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE). **FESTO AG & CO.** [DE/DE]; Ruiters Str. 82, 73734 Esslingen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE01/01371**

(22) Internationales Anmeldedatum:
6. April 2001 (06.04.2001)

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LUBITZ, Karl** [DE/DE]; Röntgenstr. 20, 85521 Ottobrunn (DE). **RIEDEL, Michael** [DE/DE]; Johann-Sebastian-Bach-Str. 6, 96472 Rödental (DE). **WEINMANN, Michael** [DE/DE]; Rechbergstr. 1, 73655 Plüderhausen (DE). **HOFFMANN, Markus** [DE/DE]; Hölderlinstr. 11, 72649 Wolfschlügen (DE).

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:
100 17 760.3 10. April 2000 (10.04.2000) **DE**

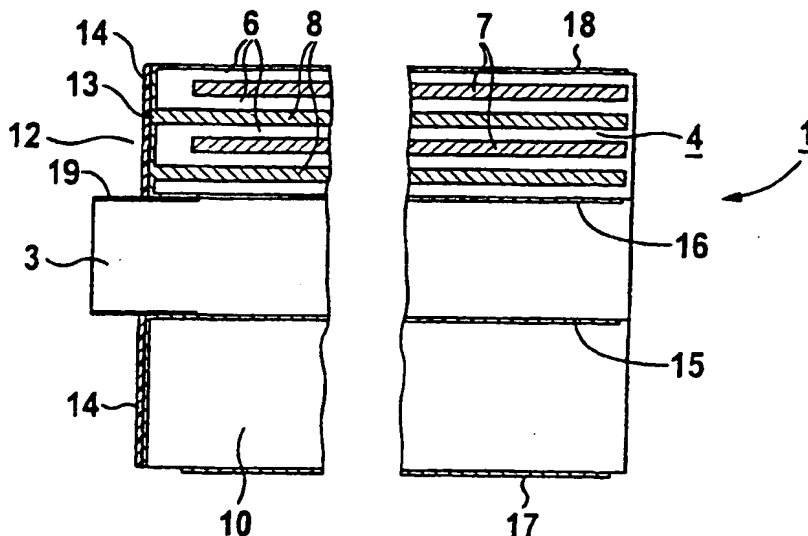
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **PIEZOCERAMIC BENDING TRANSDUCER AND USE THEREOF**

(54) Bezeichnung: **PIEZOKERAMISCHER BIEGEWANDLER SOWIE VERWENDUNG DES PIEZOKERAMISCHEN BIEGEWANDLERS**



(57) Abstract: The invention relates to a piezoelectric bending transducer (1), comprising a support body (3), a stack (4) of piezoceramic layers (6), arranged thereon and flat electrodes (7, 8) arranged between the layers (6). On the side of the support body (3) facing the stack (4) an adaptation layer (10) is arranged with essentially the same coefficient of expansion as the piezoceramic. The bending transducer (1) displays a good actuating power and a low thermal natural distortion with economical production costs. Said transducer is particularly suitable for application in a valve.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Biegewandler (1) mit einem Tragkörper (3) und mit einem darauf aufgebrachtten Stapel (4) aus Schichten (6) aus Piezokeramik und aus zwischen den Schichten (6) angeordneten flächigen Elektroden (7, 8). Auf der dem Stapel (4) abgewandten Seite des Tragkörpers (3) ist eine Anpassschicht (10) aus einem Material mit im wesentlichen gleichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten wie die Piezokeramik aufgebracht. Der Biegewandler (1) zeigt eine gute Stellkraft und eine geringe thermische Eigenverbiegung bei günstigen Herstellungskosten. Er eignet sich insbesondere für den Einsatz in einem Ventil.

WO 01/78160 A1



(81) Bestimmungsstaaten (*national*): CN, JP, KR, RU, US.

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Beschreibung

Piezokeramischer Biegewandler sowie Verwendung des piezokeramischen Biegewandlers

5

Die Erfindung betrifft einen piezokeramischen Biegewandler mit einem Tragkörper und mit einem darauf aufgebracht Stapel aus Schichten aus Piezokeramik und aus zwischen den Schichten angeordneten flächigen Elektroden. Die Erfindung
10 betrifft weiter eine Verwendung eines derartigen Biegewandlers.

Ein derartiger piezokeramischer Biegewandler ist aus der DD 293 918 A5 und der WO 99/17383 bekannt. Gemäß der
15 WO 99/17383 werden zur Ansteuerung des piezokeramischen Biegewandlers die zwischen den Schichten aus Piezokeramik angeordneten Elektroden in Stapelrichtung betrachtet abwechselnd auf positives und negatives Potential gelegt. Dabei sind jeweils benachbarte Schichten aus Piezokeramik in entgegengesetzter Richtung polarisiert, so dass der gesamte Stapel
20 bei Anlegen der Betriebsspannung aufgrund des piezoelektrischen Effektes der Piezokeramik entweder eine Kontraktion oder eine Expansion erfährt.

25 Weitere Möglichkeiten zur Ansteuerung eines derartigen Stapels aus Schichten aus Piezokeramik sind der DE 34 34 726 C2 zu entnehmen.

Aus der DE 34 34 726 ist weiter als Material für die Piezokeramik der Schichten Bleititanat, Bariumtitanat, Bleizirkontitanat oder Abwandlungen dieser keramischen Substanzen bekannt. Als Material für den Tragkörper ist aus der
30 DD 293 918 A5 Federstahl und aus der WO 97/17383 ein Faserverbundwerkstoff oder Glas bekannt. Der Tragkörper aus einem Faserverbundwerkstoff oder aus Glas führt dabei zu einem guten Wirkungsgrad für die Umwandlung von elektrischer in mechanische Energie.
35

Ein piezoelektrischer Biegewandler mit einem Tragkörper wird in der Regel als ein sogenannter Trimorph aufgebaut. Dies bedeutet, dass der Tragkörper beidseitig jeweils mit mindestens einer piezoelektrisch aktiven Schicht aus Piezokeramik beschichtet ist. Aufgrund des symmetrischen Aufbaus ist die temperaturbedingte Eigenverbiegung eines solchen piezokeramischen Biegewandlers geringer, als wenn der Tragkörper lediglich einseitig beschichtet wäre.

10 Wird anstelle einer einzigen piezokeramischen Schicht ein Stapel aus vielen piezokeramischen Schichten eingesetzt, so wird die gleiche mechanische Energie bereits bei einer niedrigeren Betriebsspannung zur Verfügung gestellt. Dies ist darin begründet, dass sich aufgrund der geringen Dicke der
15 einzelnen piezokeramischen Schichten in einem Stapel bei gleicher Betriebsspannung gemäß $E = U/d$, wobei E das elektrische Feld, U die angelegte Spannung und d die Dicke der Keramikschicht angibt, eine größere elektrische Feldstärke ergibt als bei Verwendung einer einzigen Schicht mit der Dicke des
20 Stapels. Der Aufbau der piezoelektrisch aktiven Substanz in Form eines Stapels mit vielen einzelnen Schichten aus Piezokeramik, d.h. in Multilayer-Technik, ist vorteilhaft, wenn kleine Stellwege und große Stellkräfte für den piezokeramischen Biegewandler gefordert werden.

25 Aus letztgenanntem Grund werden gerade für Anwendungen in einem Ventil piezokeramische Biegewandler in Stapel- oder Multilayer-Bauweise bevorzugt. Nachteiligerweise sind jedoch die Fertigungs- und Materialkosten für einen piezokeramischen
30 Biegewandler in Multilayer-Bauweise relativ hoch. Die piezokeramischen Schichten müssen aufwendig als Folien gezogen werden; es sind viele einzelne Elektrodenschichten erforderlich, was die Materialkosten (AgPd) anhebt. Bei Einsatz eines piezokeramischen Biegewandlers in Multilayer-Bauweise wäre
35 demnach ein Ventil trotz besserer Stelleigenschaften aufgrund des hohen Stückpreises gegenüber einem vergleichbaren Ventil herkömmlicher Bauweise nicht konkurrenzfähig.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen piezokeramischen Biegewandler in Multilayer-Bauweise anzugeben, der sich günstig herstellen lässt. Weiter ist es Aufgabe der Erfindung, eine Verwendung für einen derartigen piezokeramischen Biege-
5 wandler anzugeben.

Die erstgenannte Aufgabe wird für einen piezokeramischen Biege-
wandler der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch
gelöst, dass auf der dem Stapel abgewandten Seite des Trag-
10 körpers eine Anpassschicht aus einem Material mit im Wesent-
lichen gleichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten wie die
Piezokeramik aufgebracht ist.

Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass bei An-
15 wendung des piezokeramischen Biegewandlers in einem Ventil
lediglich zwei definierte Positionen des Biegewandlers not-
wendig sind. Bei der einen definierten Position des Biege-
wandlers muss das Ventil geschlossen und bei der anderen de-
finierten Position des Biegewandlers offen sein. Eine wei-
20 tere, dritte definierte Position des Biegewandlers ist nicht
erforderlich. Je nach Ansteuerung des Biegewandlers spricht
man von einem normal offenen Ventil, wenn das Ventil bei
nicht angesteuertem Biegewandler offen ist, und von einem
normal geschlossenen Ventil, wenn das Ventil bei nicht ange-
25 steuertem Biegewandler geschlossen ist.

Die Erfindung geht weiter von der Überlegung aus, dass die
beiden zur Steuerung eines Ventils erforderlichen Positionen
des piezokeramischen Biegewandlers durch seine Ruheposition
30 bei nicht angelegter Spannung und durch eine Auslenkposition
bei angelegter Spannung gegeben sind. Es ist demnach ledig-
lich eine Auslenkung des Biegewandlers in eine Richtung er-
forderlich. Für einen in einem Ventil zum Einsatz kommenden
Biegewandler genügt daher eine einseitige Aufbringung des
35 Stapels aus Schichten aus Piezokeramik, im Folgenden Piezo-
stapel genannt, auf den Tragkörper. Ein zweiter, entgegen der
Polarisationsrichtung angesteuerter Piezostapel liefert näm-

lich zur Auslenkung nur einen geringen Beitrag, da die Feldstärke wegen Dipolarisationseffekten begrenzt werden muss. Ohne die Leistungsfähigkeit des Biegewandlers für den Einsatz in Ventilen zu schmälern, kann demnach auf einen Piezostapel verzichtet werden. Dies ist eine kostengünstige Maßnahme, da die Herstellung eines aus vielen einzelnen Piezokeramiksichten mit dazwischenliegenden Elektroden bestehenden Piezostapels teuer ist.

- 10 Des Weiteren geht die Erfindung nun von der Überlegung aus, dass ein piezokeramischer Biegewandler mit einem Tragkörper und einem darauf einseitig aufgebrachtten Piezostapel gegenüber einem Biegewandler mit einem Tragkörper und beidseitig darauf aufgebrachtten Piezostapeln aufgrund des unsymmetrischen Aufbaus eine höhere thermische Eigenverbiegung aufweist, und insofern für eine Verwendung in einem Ventil ungeeignet wäre. Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass auf der dem Stapel abgewandten Seite des Tragkörpers eine Anpassschicht aus einem Material mit einem im Wesentlichen gleichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, wie dem der Piezokeramik, aufgebracht ist.

- Vorteilhafterweise besteht die Anpassschicht aus einem Glas oder einem Aluminiumoxid. Diese beiden Materialien weisen einen ähnlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf wie die üblicherweise als Piezokeramik verwendete Blei-Zirkonat-Titan-Oxidkeramik.

- Eine Piezokeramik erhält ihre piezoelektrischen Eigenschaften in der Regel dadurch, dass sie in einem homogenen elektrischen Feld polarisiert wird. Mit der Polarisation ist eine Veränderung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Piezokeramik verbunden. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung besteht daher die Anpassschicht zur Kompensation der thermischen Eigenverbiegung des Biegewandlers aus einer polarisierten Piezokeramik. In diesem Fall ist der thermische Ausdehnungskoeffizient der Anpassschicht iden-

tisch mit dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der einzelnen Schichten aus Piezokeramik in dem auf der anderen Seite des Tragkörpers aufgebrachten Stapel. In diesem Fall besteht die Anpassschicht aus einer monolithischen polarisierten Piezokeramik, d.h. aus einer einzigen Schicht aus Piezokeramik.

Als Material für den Tragkörper kann beispielsweise Glas, Metall oder ein Faserverbundwerkstoff verwendet werden. Hinsichtlich einer einfachen Verarbeitbarkeit und einer dauerhaften Verbindung zwischen Piezokeramik und Tragkörper hat es sich jedoch als vorteilhaft erwiesen, wenn der Tragkörper aus einem Faserverbundwerkstoff besteht.

Insbesondere kann eine dauerhafte und feste Verbindung zwischen einer Piezokeramik und dem Tragkörper dann gebildet werden, wenn der Faserverbundwerkstoff ein mit Kohle- oder Glasfasern verstärktes Epoxidharz ist. Zur Herstellung wird als Ausgangsmaterial dann für den Tragkörper ein Epoxidharz-Prepreg (ein noch nicht ausgehärteter Rohling) verwendet, welches durch eine Wärmebehandlung mit der Piezokeramik thermisch verklebt wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erstreckt sich ein freier Teil des Tragkörpers auf einer Befestigungsseite über den Stapel und über die Anpassschicht hinaus. Der freie Teil des Tragkörpers kann in einfacher Art und Weise zur Befestigung des Biegewandlers herangezogen werden. Auch ermöglicht diese Ausgestaltung eine einfache Kontaktierung der einzelnen Elektroden in dem Piezostapel. Beispielsweise kann auf den freien Teil des Tragkörpers ein Kupferplättchen aufgeklebt sein, welches sich teilweise unter den Piezostapel erstreckt und dort mit den jeweiligen Elektroden elektrisch kontaktiert ist. Auf dieses Kupferplättchen kann dann in einfacher Art und Weise ein Anschlussdraht aufgelötet werden.

Vorteilhafterweise sind die Elektroden des Piezostapels zur elektrischen Kontaktierung auf der Befestigungsseite aus der Piezokeramik herausgeführt und an den übrigen Seiten gegenüber der Piezokeramik zurückversetzt. Die als flächige Metal-

5 lisierung ausgeführten Elektroden treten auf diese Art und Weise lediglich an der Befestigungsseite aus dem Piezostapel oder aus der Anpassschicht heraus. Beim gemeinsamen Versintern des Piezostapels bildet sich durch die zurückversetzte Lage der Elektroden an den Außenseiten eine Sinterhaut, die

10 nach Abschluss des Sinterprozesses die Elektroden dicht gegen die Umwelt abschließt. Eine solche Ausführung der Elektroden innerhalb des Piezostapels ermöglicht daher den Betrieb des piezokeramischen Biegewandlers auch bei hohen Luftfeuchtigkeiten oder in Wasser. Die einzelnen Elektroden sind durch

15 die Sinterhaut sehr gut gegeneinander elektrisch isoliert, was die Kurzschlussfestigkeit des Piezostapels erhöht.

Hinsichtlich der Kurzschlussfestigkeit des piezokeramischen Biegewandlers ist es weiter von Vorteil, wenn der aus dem

20 Piezostapel oder der Vergussmasse herausgeführte Teil der Elektroden mit einer Vergussmasse versiegelt ist. Hierzu wird der Biegewandler in eine Form eingesetzt, welche dann mit der Vergussmasse ausgegossen wird.

25 Hinsichtlich der leichten Handhabbarkeit ist es von Vorteil, wenn die Vergussmasse ein Epoxidharz ist. Auch können insbesondere mittels Laser aushärtbare Kleber als Vergussmasse verwendet werden. Durch das Vergießen mit einer Vergussmasse ist der gesamte piezokeramische Biegewandler vor Feuchtigkeit

30 geschützt und kann daher selbst in flüssigkeitsführenden Ventilen eingesetzt werden.

Hinsichtlich der Verwendung wird die eingangs gestellte Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der piezokeramische

35 Biegewandler, wie in den Patentansprüchen 1 bis 9 beschrieben, als ein Stellelement in einem Ventil, insbesondere in einem Pneumatik-Ventil, eingesetzt wird. Ein solches Ventil

ist aufgrund seines guten Preis/Leistungs-Verhältnisses gegenüber einem herkömmlichen Ventil wettbewerbsfähig. Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand einer Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigen:

5

FIG 1 einen Längsschnitt durch einen piezokeramischen Biege-
wandler mit einem Tragkörper, der auf der einen Seite
mit einem Stapel aus Schichten aus Piezokeramik und
auf der anderen Seite mit einer Anpassschicht in Ge-
stalt einer monolithischen Piezokeramik beschichtet
ist,

10

FIG 2 einen Querschnitt durch den piezokeramischen Biege-
wandler gemäß Figur 1 und

15

FIG 3 in dreidimensionaler Darstellung die Befestigungsseite
des piezokeramischen Biegewandlers gemäß Figur 1.

Figur 1 zeigt in einem Längsschnitt einen piezokeramischen
Biegewandler 1 mit einem Tragkörper 3 aus einem mit Glasfa-
sern verstärkten Epoxidharz. Auf den Tragkörper 3 ist einsei-
tig ein Stapel 4 aus einer Anzahl von Schichten 6 aus Piezo-
keramik mit jeweils dazwischen angeordneten Elektroden 7, 8
in Form einer Silber/Palladium-Metallisierungsschicht aufge-
bracht. Auf der dem Stapel 4 abgewandten Seite des Tragkör-
pers 3 ist eine Anpassschicht 10 aus einer monolithischen
Piezokeramik aufgebracht.

20

25

Auf der Befestigungsseite 12 des piezokeramischen Biegewand-
lers 1 erstreckt sich ein freier Teil des Tragkörpers 3 nach
außen. Im Längsschnitt sichtbar sind Teile 13 der Elektroden
8 an der Befestigungsseite 12 aus dem Stapel 4 nach außen ge-
führt und dort miteinander elektrisch kontaktiert. Auch die
Elektroden 7 sind - im gezeigten Längsschnitt nicht sichtbar
- an anderer Stelle auf die gleiche Art und Weise nach außen
geführt und ebenfalls miteinander kontaktiert (siehe Figur
2). Der nach außen geführte Teil 13 der Elektroden 7, 8 ist

30

35

auf der Befestigungsseite 12 mit einer Vergussmasse 14 aus Epoxidharz versiegelt.

Der Stapel 4 weist weiter eine dem Tragkörper 3 zugewandte
5 Innenelektrode 16 und eine Außenelektrode 18, ebenfalls in
Form einer Silber/Palladium-Metallisierung, auf. Die Innen-
und Außenelektrode 16 bzw. 18 können auch weggelassen werden.
Dies ist z.B. von Vorteil beim Betrieb des Biegewandlers in
Feuchte. Auch die Anpassschicht 10 ist mit einer Innenelek-
10 trode 15 und einer Außenelektrode 17 versehen. Sowohl die
Schichten 6 aus Piezokeramik des Stapels 4 als auch die
monolithische Piezokeramik der Anpassschicht 10 werden über
die Elektroden 7 und 8 sowie 16 und 18 bzw. 15 und 17 bei
Anlegen einer vorgegebenen Spannung polarisiert. Die Anpass-
15 schicht 10 weist damit den gleichen thermischen Ausdehnungs-
koeffizienten auf wie die Schichten 6 aus Piezokeramik. Als
Piezokeramik wird eine Blei-Zirkonat-Titan-Oxidkeramik ver-
wendet.

20 Auf der Befestigungsseite 12 des piezokeramischen Biegewand-
lers 1 ist auf den Tragkörper 3 ein Kupferplättchen 19 aufge-
klebt, welches sich teilweise unter den Stapel 4 erstreckt.
Dort ist das Kupferplättchen 19 - wie im Längsschnitt erkenn-
bar, mit den Elektroden 8 elektrisch kontaktiert. Zum Versor-
25 gen der Elektroden 8 mit einer Spannung wird ein Anschlusska-
bel auf das Kupferplättchen 19 gelötet.

In Figur 2 ist ein Querschnitt des piezokeramischen Biege-
wandlers gemäß Figur 1 dargestellt. Der Querschnitt ist dabei
30 so gewählt, dass eine Elektrode 7 gemäß Figur 1 sichtbar
wird. Man erkennt deutlich, dass zur Kontaktierung der Elekt-
roden 7 ein Kupferplättchen 19a und zur Kontaktierung der
Elektroden 8 ein Kupferplättchen 19b verwendet ist. Hierzu
wird ein Elektrodenteil 20 aus dem Stapel herausgeführt und
35 außen mit dem Kupferplättchen 19a kontaktiert. Die Kupfer-
plättchen 19a und 19b sind auf dem freien Teil 21 des Trag-
körpers aufgeklebt.

Weiter wird deutlich, dass die Elektroden - dargestellt sind die Elektroden 7 - an den Seiten 22, 24 und 26 gegenüber den Schichten aus Piezokeramik 6 zurückversetzt sind. Durch dieses Zurückversetzen wird die Kurzschlussfestigkeit des piezo-

5 keramischen Biegewandlers bei Feuchtigkeit verbessert.

In Figur 3 ist der freie Teil 21 des Tragkörpers 3 in perspektivischer Darstellung gezeigt. Man erkennt deutlich, dass das Kupferplättchen 19a mit allen Elektroden 8 und das Kupferplättchen 19b mit allen Elektroden 7 elektrisch kontak-

10 tiert ist. Wird zwischen die Kupferplättchen 19a und 19b eine Spannung angelegt, so zeigt das elektrische Feld in benachbarten Schichten 6 aus Piezokeramik jeweils in entgegengesetzte Richtung. Da die Polarisationsrichtungen benachbarter Schichten 6 aus Piezokeramik ebenfalls in entgegengesetzte

15 Richtung zeigen, führt das Anlegen einer elektrischen Spannung demnach zu einer Kontraktion oder zu einer Expansion sämtlicher Schichten 6 des Stapels 4 und damit zu einer Gesamtkontraktion oder Expansion des Stapels 4. Wird der freie Teil 21 des Tragkörpers 3 festgehalten, so führt das Anlegen

20 einer Spannung an die Kupferplättchen 19a und 19b damit zu einer Auslenkung des anderen Endes des Biegewandlers 1.

Weiter ist in Figur 3 noch ersichtlich, dass die Piezokeramik der Anpassschicht 10 mittels der Kupferplättchen 19c und 19d

25 bei Anlegen einer Spannung ebenfalls polarisiert werden kann.

Patentansprüche

1. Piezokeramischer Biegewandler (1) mit einem Tragkörper (3) und mit einem darauf aufgebracht Stapel aus Schichten (6) aus Piezokeramik und aus zwischen den Schichten (6) angeordneten flächigen Elektroden (7, 8),
dadurch gekennzeichnet, dass auf der dem Stapel abgewandten Seite des Tragkörpers (3) eine Anpassschicht (10) aus einem Material mit im wesentlichen gleichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten wie die Piezokeramik aufgebracht ist.
2. Piezokeramischer Biegewandler (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassschicht (10) aus einem Glas oder einem Aluminiumoxid besteht.
3. Piezokeramischer Biegewandler (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassschicht (10) aus einer polarisierten Piezokeramik besteht.
4. Piezokeramischer Biegewandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Tragkörper (3) aus einem Faserverbundwerkstoff besteht.
5. Piezokeramischer Biegewandler (1) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Faserverbundwerkstoff ein mit Kohle- oder Glasfasern verstärktes Epoxidharz ist.
6. Piezokeramischer Biegewandler (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich ein freier Teil (21) des Tragkörpers (3) auf einer Befestigungs-

seite (12) über den Stapel und über die Anpassschicht (10) hinaus erstreckt.

- 5 7. Piezokeramischer Biegewandler (1) nach Anspruch 6,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die
Elektroden (7, 8) zur elektrischen Kontaktierung auf der Befestigungsseite (12) aus der Piezokeramik heraus geführt und an den übrigen Seiten (22, 24, 26) gegenüber der Piezokeramik zurückversetzt sind.
- 10 8. Piezokeramischer Biegewandler (1) nach Anspruch 7,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der heraus geführte Teil (20) der Elektroden (7, 8) auf der Befestigungsseite (12) mit einer Vergussmasse (14) versiegelt ist.
- 15 9. Piezokeramischer Biegewandler (1) nach Anspruch 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Vergussmasse (14) ein Epoxidharz ist.
- 20 10. Verwendung eines piezokeramischen Biegewandlers (1) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche als Stellelement in einem Ventil, insbesondere in einem Pneumatik-Ventil.

1/2

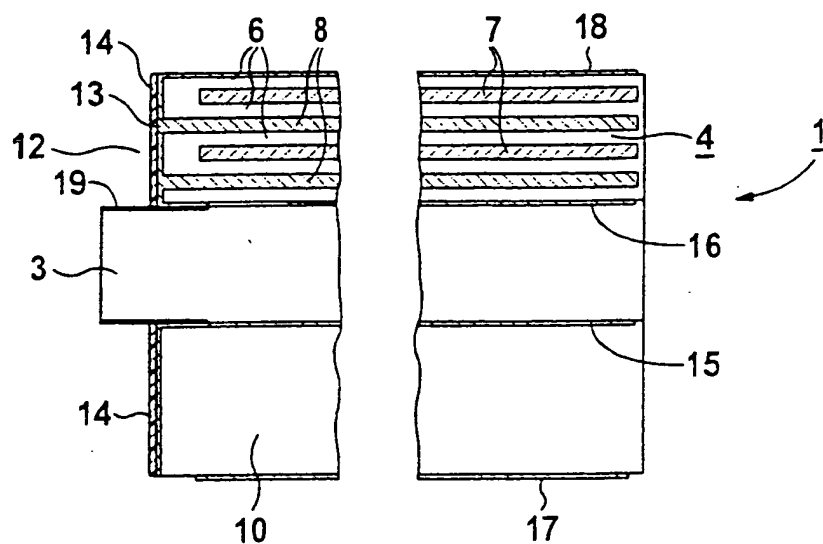


FIG 1

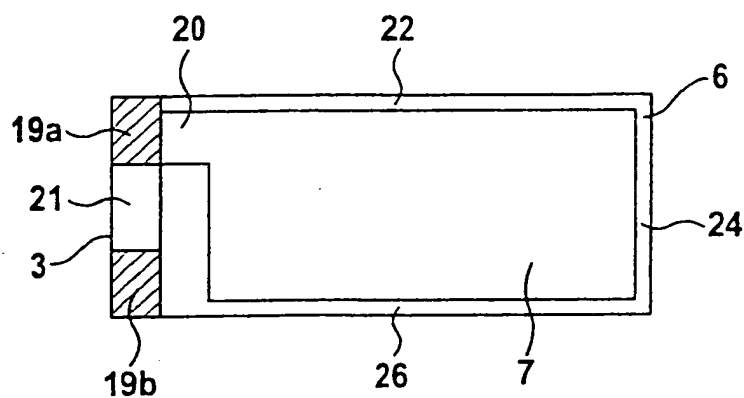


FIG 2

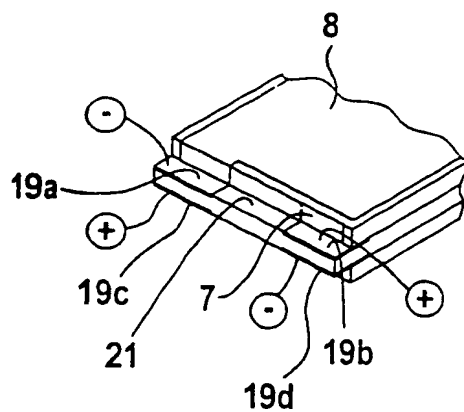


FIG 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 01/01371

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 HO1L41/09

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 HO1L F16K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 28 52 795 A (SONY CORP) 7 June 1979 (1979-06-07) page 13, line 26 -page 15, line 10; figure 6 ---	1,3
A	US 3 629 625 A (SCHAFFT HUGO W) 21 December 1971 (1971-12-21) column 2, line 57 -column 4, line 14; figures 3-5 ---	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 13, 30 November 1998 (1998-11-30) -& JP 10 225146 A (WAC DATA SERVICE KK), 21 August 1998 (1998-08-21) abstract --- -/--	1



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *I* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 September 2001

Date of mailing of the international search report

18/09/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040. Tx. 31 651 epo nl.
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Köpf, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat. Appl. No.

PCT/DE 01/01371

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>WO 99 17383 A (SIEMENS AG) 8 April 1999 (1999-04-08) cited in the application page 2, line 34 -page 13, line 35; figures -----</p>	1,4-6,10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internal Application No

PCT/DE 01/01371

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 2852795	A	07-06-1979	JP 1355124 C	24-12-1986
			JP 54078993 A	23-06-1979
			JP 59036439 B	04-09-1984
			JP 1355125 C	24-12-1986
			JP 54078994 A	23-06-1979
			JP 59036440 B	04-09-1984
			CA 1125343 A1	08-06-1982
			DE 2852795 A1	07-06-1979
			FR 2411533 A1	06-07-1979
			GB 2012106 A ,B	18-07-1979
			NL 7811863 A ,B,	08-06-1979
US 3629625	A	21-12-1971	NONE	
JP 10225146	A	21-08-1998	NONE	
WO 9917383	A	08-04-1999	CN 1270705 T	18-10-2000
			WO 9917383 A1	08-04-1999
			EP 1019972 A1	19-07-2000

PCT/DE 01/01371

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/01371

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>WO 99 17383 A (SIEMENS AG) 8. April 1999 (1999-04-08) in der Anmeldung erwähnt Seite 2, Zeile 34 -Seite 13, Zeile 35; Abbildungen</p> <p>-----</p>	1,4-6,10

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internat. des Aktenzeichen

PCT/DE 01/01371

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 2852795	A	07-06-1979	JP 1355124 C 24-12-1986
			JP 54078993 A 23-06-1979
			JP 59036439 B 04-09-1984
			JP 1355125 C 24-12-1986
			JP 54078994 A 23-06-1979
			JP 59036440 B 04-09-1984
			CA 1125343 A1 08-06-1982
			DE 2852795 A1 07-06-1979
			FR 2411533 A1 06-07-1979
			GB 2012106 A ,B 18-07-1979
			NL 7811863 A ,B, 08-06-1979
US 3629625	A	21-12-1971	KEINE
JP 10225146	A	21-08-1998	KEINE
WO 9917383	A	08-04-1999	CN 1270705 T 18-10-2000
			WO 9917383 A1 08-04-1999
			EP 1019972 A1 19-07-2000

THIS PAGE BLANK (USPTO)